



三角洲沉积率及其地质意义

李 从 先

(同济大学海洋地质研究所)

沉积率是沉积环境的定量指标,在各种环境中差异很大,其中以三角洲沉积率最高。快速沉积使三角洲产生了一系列特点,并使之成为石油、天然气等沉积矿产生和聚集的重要场所。

在三角洲形成和发育中,快速沉积、缓慢沉积、沉积间断和侵蚀破坏交替出现,沉积体是这些作用的最终结果。沉积体形成的时间愈长,所包含的冲淤变化愈多;时间愈短,经历的冲淤变化愈少。因此,不论长期或短期形成的沉积体,其沉积率都是某段时间的平均值。同一个三角洲长期和短期的沉积率是不同的,但对三角洲的研究来说都是需要的。长时期的平均沉积率在研究三角洲沉积体的发育和成矿作用中具有更大的意义,而短期的平均沉积率则有助于理解沉积过程,研究水体与沉积物的交换。

一、沉积率的推算方法

沉积率是三角洲沉积的重要参数,历来对它十分重视,采用多种方法进行推算。同一地区由于采用的方法不同,沉积率也会有差异。

由河流输砂量计算三角洲沉积率,是普遍使用的方法,世界许多大河通常设有长期的水文观测站,积累了流量和输砂量的资料。因此,利用河流输砂量推求三角洲沉积率是比较简便的方法,采用最早,延用至今。1922年,海登斯坦(Heidenstan)曾根据当时长江的观测资料,估计长江年输砂量约为4亿吨,沉积物在河口的扩散范围为8300平方英里(21500平方公里),由此计算出长江三角洲的平均沉积率为1英尺/20年,约为1.55厘米/年。这与最近计算的长江三角洲的沉积率十分接近。这种方法往往由于不能确切估计三角洲体系的沉积物与外界交

换的数量而存有误差。巴特伯杰(Bartberger)依据河流输砂和海岸侵蚀物的数量,计算出美国东海岸 Chincoteague 河口湾的平均沉积率为0.3毫米/年,即30厘米/10000年。然而,由钻孔揭示的沉积层厚度与海面变动曲线对比所算得的平均沉积率为1.50厘米/10000年,相差达5倍之多。两种方法得出的沉积率的差异主要是,由于该海湾通过两个潮流通道不断接受外海的泥砂和滨海沼泽植物生长提供大量补充沉积物所致。同样,海登斯坦在计算长江三角洲沉积率和成陆速度时,也没有考虑长江泥砂与外界的交流,因为长江泥砂不仅沉积在河口地区,而且有相当数量向南运移,离开三角洲体系,到达浙闽海岸¹⁾。

用不同年代的历史海图进行对比分析,直接求得三角洲沉积率是河口地区又一种常用的方法。这种方法包括的时间较短。象长江和密西西比河这样开发较早的三角洲,测绘较精确海图的时间也只有百余年,这对三角洲的形成来说是很短暂的。这种方法测得的数值,一般代表三角洲早期发育阶段的沉积率,通常偏高。此外,不同年代历史海图的深度基准面可能有所差异。然而,即是海图,同一地区深度基准面的差别不会太大,两次测量相隔时间越长,深度基准面的差别对沉积率的影响越小。当然,时间越长,沉积率又会受到海面变动、地壳升降和沉积物压实等的影响。

随着C¹⁴放射性同位素和古地磁方法的广泛应用,通过测定沉积层的年代推算三角洲沉积率已经成为重要方法。弗雷泽曾应用C¹⁴法测得密西西比三角洲172个样品的资料,从而

1) 秦蕴珊等, 1978. 东海大陆架论文集, PP 35—44. 中国科学院海洋研究所编。

确定了全新世16个亚三角洲的形成年代和发育顺序。当相邻地区研究程度较高,并有文物考古和测定年代的资料时,可以引用地层对比、海面变动曲线对比等推算三角洲沉积率。这些方法所求得的数值一般是长期的沉积率,代表三角洲的整个发育过程,通常偏低。

二、三角洲沉积率及其 与其他环境的对比

河流入海(湖),泥砂大量沉积,沉积率是比较高的。据资料统计得知,滨海环境沉积率高于浅海,浅海大陆架超过大洋。三角洲沉积率在滨海环境中是最高的,各作者测得的三角洲沉积率为每千年数千厘米,最大可达45000厘米/1000年。这较其他滨海环境要高的多。河口湾沉积率为100—800厘米/1000年;海湾泻湖为100—600厘米/1000年;滨海沼泽为100—600厘米/1000年,同是滨海环境,它们的沉积率较三角洲低1—2个数量级。浅海大陆架沉积率为10—200厘米/1000年,较三角洲低2—3个数量级;大洋沉积率只有0.04—4厘米/1000年,低于三角洲沉积率4—6个数量级。

应当指出三角洲沉积率只代表三角洲早期发育阶段主要河道河口地区的局部沉积率,并非整个三角洲地区的平均值。如果整个三角洲的平均沉积率如此之高,那么将与三角洲地区基本的事实矛盾。

事实上,沉积率在三角洲的不同部位相差是很大的。在垂直海岸的方向上,自河口向外海沉积率逐渐减小,河口砂坝最高,前缘斜坡次之,前三三角洲最小。根据1842、1865、1973年长江口历史海图对比,三角洲发育的早期河口砂坝、前缘斜坡和前三三角洲分别为12000厘米/1000年、5000厘米/1000年和300厘米/1000年,河口砂坝与前三三角洲沉积率相差约40倍。由不同时期水深测量资料对比,求得密西西比河口砂坝与前三三角洲分别为30000—45000厘米/1000年和300厘米/1000年,相差100—150倍。在平行海岸的方向上,主要河道河口地区沉积率最高,向两侧逐渐减小。在意大利

波河三角洲主要河道Pila河口地区,1956—1959年,淤高98厘米,平均每年沉积约13厘米,河口两侧沉积率逐渐减小,河口南北20—30公里处,分别为7厘米/年和3厘米/年。沉积率在三角洲的不同发育阶段也有变化,早期沉积率较高,可以达到每年数十厘米。1973年,密西西比河西南河道河口砂坝洪水季节甚至增高3米。而三角洲发育的晚期,沉积率逐渐减小。以崇明岛为例,厚达10—15米的砂质“水下基座”形成的时间只有数百年,然而,各个部分相继出露水面连成统一的崇明岛却延绵达千余年。这样,河口砂坝形成早期和晚期沉积率的差异是异常明显的。因此,主要河道河口砂坝早期形成时的沉积率最高。

如保持三角洲沉积率在各个部位的差异,由亚三角洲开始产生至完全形成所得沉积层厚度和延续时间,推算出平均沉积率,其值要小得多。根据孢粉组合所反映的气候曲线、考古和 C^{14} 测年资料、古海岸线的对比,我们曾推算出全新世长江各期亚三角洲的沉积率(见表)。各期亚三角洲相同部位的沉积率比较接近,如果不考虑地区上的差异,全新世整个三角洲体系的平均沉积率还要进一步减小。由长江三角洲沉积体系的沉积总量和三角洲的面积,求得全新世整个三角洲的平均沉积率约为530厘米/1000年,在罗纳河和尼日尔河得出了相近的数据,其值分别为520厘米/1000年和560厘米/1000年。

长江各期亚三角洲沉积率

亚三角洲	沉积率(厘米/1000年)		
	河口砂坝	前缘斜坡	前三三角洲
红桥期	1660	840	400
黄桥期	1200	360	220
金沙期	720	300	160
海门期	1150	650	420
崇明期	1000	570	370
平均值	1140	540	310

由三角洲沉积率长期和短期、局部和整体的差异可以推断,其他滨海浅海环境沉积率的

变化似应遵守相同的规律。因此,各个沉积环境整个地区的长期沉积率同样应低于三角洲早期发育阶段主要河道河口地区的局部沉积率,而整个三角洲的平均沉积率可能仍居首位。

总之,全新世整个三角洲和三角洲不同部位的沉积率,三角洲相同部位不同发育阶段的沉积率都是不同的,相差很大。然而,又都是客观存在的,一个不能代替另一个,一个不能否定另一个,它们对认识和解释三角洲沉积体系的形成和沉积过程都是必不可少的。在实际工作中,可根据不同的目的,采用不同的测定和计算方法,以得不同的沉积率。研究河口航道的淤积,须要了解一年内,洪水季节,甚至更短时间的沉积率,必须用直接测量法,而地质时期甚至多年平均值都是毫无意义的。然而,在探讨海进海退、三角洲地区油气的生成、三角洲的摆动效应等地质现象时,则需要整个三角洲长时期的平均沉积率,局部的瞬时沉积率无助于问题的解决。至于三角洲的形变构造,虽是地质时期内发生的现象,但要认识它,必须了解三角洲各个部位沉积率的不同和沉积结构的差异。

三、沉积率的地质意义

1. 沉积率与海进海退

三角洲地区海进海退不仅取决于海面上升,而且受制于沉积率。1919年,丁文江在讨论长江三角洲能否作为地壳上升标志时指出,长江三角洲处在构造沉降区,并非是地壳上升的产物,而是长江大量泥砂堆积的结果。这实际上说明了沉积率在海退(平原形成)中的作用。Curry认为,虽然影响海进海退的因素很多,但最重要的是海面变动速度和沉积率,而且沉积率应是该地区的长期平均值,而不是局部地区短时间的沉积率,即使后者数值很大,也未必能产生巨大的堆积体,以促使海退,阻碍海进。

沉积率对全新世三角洲地区海进海退的影响尤为明显。以长江三角洲为例,全新世早期海面上升速度(600—1600厘米/1000年)超过沉积率(530厘米/1000年),发生海进。在长江南北的晚更新世古地面上,产生了滨海砂堤

-泻湖体系,与海退滨海砂堤-泻湖体系上复和下伏层完全相反,它超复不整合于陆相层上,上复海相层,构成海进层序。在长江古河床内,形成了海床充填沉积,向上逐渐过渡为海相层,亦为海进层序。全新世中期,海面上升速度与沉积率逐渐接近平衡,沉积作用与海面上升同步进行,产生了较厚的滨海河口沉积体,如海安-泰州的滨海砂堤-泻湖体系,江苏仪征县红桥一带河床充填砂体与河口坝叠复所形成的厚层河口砂体。全新世中、晚期,由于世界海面上升速度逐渐减小,沉积率超过了海面上升速度,三角洲发育前展,昔日的河口湾变为今日的三角洲,产生了三角洲海退层序。

在珠江¹⁾、罗纳河、尼日尔河、密西西比河三角洲地区,都揭示了全新世的海进海退层序。可见,全新世早期海面上升速度超过沉积率而引起海进;全新世中晚期沉积率超过海面上升速度而发生海退,这在三角洲地区是普遍规律。

2. 沉积率与形变构造

河口三角洲是快速沉积区,而且沉积率自河口向外逐渐减小,沉积物粒度逐渐变细。河口地区很高的沉积率促使三角洲迅速前展,长江和密西西比河三角洲的前展速度分别为50—100米/年和60米/年。在三角洲迅速前展的过程中,砂层、粉砂层和淤泥层依次叠复,形成三角洲层序。剖面上部的砂、粉砂和缩水粘土的密度一般为1.9—2.1克/厘米³,而下伏淤泥层的密度只有1.7克/厘米³左右,密度较大的沉积物覆盖在密度较小的淤泥层上,造成剖面上密度倒转现象,使整个沉积层处在不稳定状态。上复层的压力不均或海底施工开挖探坑都可能破坏稳定状态,致使上复层的自重淤泥层所产生的剪切力超过淤泥层的抗剪强度,淤泥向压力较小的地方流动,发生水平挤压,形成褶皱,出现底辟构造或泥火山。这里淤泥由水平流动变为垂直向上运动,不仅使周围沉积层向上拖带,而且由于压力的减小,下伏层也发生弯曲抬高。在沒有人工干扰的条件下,底辟构造

2) 中山大学, 1976。珠江三角洲的形成发育和演变。

一般出现在三角洲前缘斜坡上。淤泥的流动和排出,往往使上复砂层发生不均匀沉陷,出现垂直滑动,形成同生断层。河口沉积率越高,上复砂层与下伏淤泥层密度差异越大,越容易产生变形构造。底辟构造和同生断层在成因上密切相关,都是三角洲快速沉积的产物。在尼日尔和密西西比三角洲,同生断层和底辟构造发育良好,都是重要的储油构造。此外,在三角洲地区水下施工开挖坑道时,必须充分注意底辟构造可能对工程造成危害。

3. 沉积率与油气生成

石油和天然气的生成需要一定的温度和压力。墨西哥湾沿岸温度在 150°F 以上开始生成石油,超过 350°F — 400°F 石油转化为天然气。地温随深度增加而升高,其梯度平均为 $3^{\circ}\text{C}/100$ 米,因此沉积层必须达到一定厚度才能生成石油和天然气,如加利福尼亚落山矶和温杜尔盆地,这一沉积层的厚度为2400—3600米。较高沉积率的三角洲能够在较短的地质时期内产生巨厚的沉积层,达到油气生成所需的温度和压力。

世界大河三角洲多位于构造沉降区,通常认为,这是由于较高的三角洲沉积率迅速形成巨厚的沉积层,其自重使地壳发生挠曲所致。也有的认为,只有地壳长期沉降的地区,河流才能长期流注,而三角洲沉积的荷载又促使地壳进一步下沉。这两种意见都充分肯定了三角洲沉积率在地壳沉降中的作用。地壳不稳定地区,一般具有较高的地温梯度,有利于达到油气生成所需的温度。沉积率很高的尼日尔和密西西比三角洲地区都有较高的地热流,产丰富的石油和天然气。

4. 沉积率与三角洲的摆动

较高的三角洲沉积率产生巨厚的堆积体,其自重促使地壳沉降。地壳沉降的地区通常超过河流沉积物扩散的范围。在三角洲的周边既发生沉降而沉积物扩散又未能到达的地带,将形成凹槽。由于槽较低洼,河流往往流入槽内,当河流注入左侧凹槽时,形成亚三角洲,右侧凹槽发生海进,沉积海相及泥质沉积;河流改由右侧入海时,沉积砂质物,左侧凹槽则发生

海洋中铀的地球化学

赵一阳

(中国科学院海洋研究所)

海洋中铀的地球化学研究,一向为世界各国学者所重视。特别是自六十年代以来,研究工作无论从广度上还是深度上都取得了长足的发展。我国从六十年代起开展了海洋中铀的地球化学的研究。本文根据国内外有关文献拟就海洋中铀的地球化学问题作一简介。

一、海水中铀的地球化学

众所周知,铀具有多价性和易变价性,这是铀的两个显著的地球化学特点。铀一般有2、3、4、5、6几种电价,而在自然界中以4价和6价为主。在氧化的条件下4价可变为6价;在还原的条件下6价可变为4价。4价较稳定,6价活泼性大,因此在一般岩石矿物中铀多以4价形式存在。大陆各类岩石均不同程度地含有铀,在风化作用下,其中大部分 U^{4+} 被氧化成 U^{6+} , U^{6+} 通常呈铀酰离子 UO_2^{2+} 形式出现,该离子极易同 CO_3^{2-} 、 OH^- 等形成稳定的络阴离子而转入地表水(主要是河流)和地下水中。 UO_2^{2+} 与 CO_3^{2-} 所生成之 $(\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3)^{4-}$ 络阴离子,非常稳定,这大大地增强了铀的迁移力。河水中呈真溶液状态而被搬运的铀,多半就是 $(\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3)^{4-}$ 的形式。铀也极易为河流中的各种悬浮体(如各种胶体、粘土物质、有机质等)所吸附并一起被搬运。另外,岩石风化时形成一些不同粒度的岩石碎屑,这些碎屑海进,沉积泥质物,泥质层将部分地覆盖在前期形成的亚三角洲上。这样,河流除主要沿三角洲立体入海外,还不断改道于左、右两侧边缘凹槽入海,这一过程称为三角洲的摆动效应。由于这种摆动效应,第三纪尼日尔三角洲边缘地带成为工业油流的丰产带,其中海相页岩覆盖亚三角洲的地区为主要的油田。